



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang akan diselesaikan dari buku, artikel dan jurnal yang berkaitan. Penelitian terkait pembangkit listrik tenaga surya telah dilakukan beberapa Universitas yang ada di Indonesia maupun di luar Indonesia.

Marcelino (2017), perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpusat off-grid system untuk pedesaan terpencil. Menghasilkan perancangan PLTS Terpusat *Off-Grid System* di Dusun Pagarawa Desa Kasang Padang yang optimal dan handal berdasarkan standar AS/NZS 4509.2:2010 dengan total kapasitas 75,6 kWp terdiri terdiri 252 modul surya berkapasitas 300 kWp/modul, 3 unit *Solar Charge Controller* (SCC) berkapasitas 28,9 kWp/unit, 1 unit inverter 90 kW, dan 360 unit baterai berkapasitas 1.520 Ah dengan tegangan 2V. Menghasilkan spesifikasi teknis pembangkit yaitu *losses* sebesar 15%, *performa ratio* 85% dan *capacity factor* sebesar 16,43 %. Produksi listrik dari PLTS Terpusat *Off-Grid System* yang dirancang mampu melayani kebutuhan beban di Desa Kasang Padang secara kontinyu selama 20 tahun dengan total produksi energi listrik ditahun pertama sebesar 114 MWh dengan kelebihan energi listrik sebesar 19,1 MWh.

HS (2016), dengan judul perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) rooftop grid-connected pada gedung pemerintah. Penelitian ini menghasilkan perancangan dan analisa teknis serta ekonomi PLTS atap (rooftop) yang terhubung on-grid, dengan kapasitas pembangkit 288,420 Wp, listrik yang dapat dikirim pada jaringan PLN sebesar 405,4 MWh pertahunnya. Dengan spesifikasi pembangkit yakni *losses* sebesar 20% *performa ratio* 80% *capacity factor* sebesar 16,4% , system pembangkit ini memiliki luas atap sebesar 2840 m².

Anwar, dkk (2016). Analisis desain system pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 50 Wp, posisi sudut kemiringan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari menghasilkan tegangan rata-rata rangkaian terbuka (*Voc*) 18,27 V dan arus rata-rata hubungan singkat (*Ioc*) 2,49 A; dan posisi tegak lurus (*horizontal*) menghasilkan tegangan rata-rata rangkaian terbuka (*Voc*) 19,67 V; sementara itu arus rata-rata hubungan singkat (*Ioc*) 1,40 A. Posisi sudut kemiringan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari

menghasilkan Daya Keluaran (*Pout*) sebesar 38,24 W dan posisi tegak lurus (*horizontal*) menghasilkan Daya Keluaran (*Pout*) 21,91 W.

Tarigan, dkk (2015). *Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia*. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi aspek teknis, ekonomi dan Lingkungan dari sistem PV untuk memasok dari kebutuhan energi listrik rumah tangga. 1 kWp *grid-connected* disimulasi dengan *software* PVsyt dan RETScreen. Rata-rata radiasi global harian tersedia di Surabaya adalah $5.17 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, atau sekitar $1887 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$. Tingkat insolation tertinggi tercatat pada nilai $1005 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Berdasarkan potensi energi surya ini, 1 kWp *grid-connected* sistem PV bisa mengirim listrik ke *grid* sekitar sekitar $1,3 \text{ MWh} \cdot \text{yr}^{-1}$ rata-rata. Keuntungan investasi ini didapatkan setelah 17,6 tahun. Sistem PV *grid-connected* tidak layak secara finansial untuk memenuhi kebutuhan listrik perumahan di Surabaya. Sementara, dengan menerapkan *feed-in tariff* di USD 0,25 (kWh) ⁻¹ jangka waktu pengembalian modal akan sekitar 6,5 tahun. Tingkat pengurangan gas rumah kaca (GRK) dengan menerapkan sistem 1 kWp PLTS diperkirakan sekitar 1,66 kg SO₂; 3.46 kg NO_x; 1 295 kg CO₂; dan 91 kg abu per tahun.

Syah, (2014) berjudul Studi Kelayakan Penggunaan Atap Sel Surya sebagai Sumber Energi Listrik di Stasiun Kereta Api Jember. Penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sistem PLTS tanpa baterai dengan pola menjual didominasi oleh sel surya yang terpasang pada atap Stasiun Kereta Api Jember. Produksi dari sel surya dikeluarkan sebesar 96.963 kwh/yr atau sebesar 60 % dan pembelian energi dari PLN sebesar 65.595 kwh/yr atau sebesar 40 %. Sistem dengan komponen *photovoltaic*, *grid*, dan *converter* dengan sistem *grid sales* BEP bisa terjadi dalam jangka waktu proyek. BEP atau *Break Even Point* terjadi pada tahun ke-15. Sehingga pengembalian biaya investasi dan lainnya bisa tercapai sebelum jangka waktu proyek habis.

Berdasarkan penelitian terdahulu perancangan PLTS dilakukan berdasarkan kapasitas dan luas atap saja yang dimanfaatkan pada bangunan pemerintahan dan skala rumah tangga, dan penelitian yang paling mendekati dengan penelitian ini ialah penelitian yang berjudul “perancangan PLTS rooftop *grid-connected* pada bangunan pemerintahan dengan menggunakan *software* retscreen” (HS, 2016). Namun yang membedakan pada penelitian kali ini peneliti melakukan analisa perancangan dengan metode yang menggunakan PLTS atap (rooftop) pada industri menengah yang berada di kota Pekanbaru. Kemudian dibuat perancangan manual sebelum menggunakan *software* PVSyst, dengan

mengkonfigurasi spesifikasi peralatan dan analisa teknis daya output listrik yang dihasilkan serta dapat mengetahui losses, performa ratio dan capacity factor dengan menggunakan PVSyst. Setelah itu dilakukan analisa biaya yaitu perhitungan biaya yang dibutuhkan seperti biaya awal, biaya operasional, biaya perawatan dan analisa financial. Begitu juga untuk *Net Present Value* (NPV), *life cycle cost* (LCC), dan *Simple Payback* (SP). Selanjutnya peneliti juga melakukan analisa emisi untuk mengetahui berapa banyak pengurangan emisi yang dapat dilakukan setelah adanya perancangan ini, perancangan manual yang dilakukan peneliti mengikuti standar GSES.

2.2 Deskripsi Profil Kegiatan Perusahaan PT. P&P Bangkinang

PT. P&P Bangkinang ialah perusahaan industri yang bergerak pada produksi pengolahan karet yang terdapat di Jl. Taskurun Pekanbaru-Riau, bahan mentah tersebut diolah dalam beberapa tahapan sebelum di ekspor kepada perusahaan lainnya. Dalam penerapannya terdapat 4 Gedung ataupun bangunan untuk tahapan pengolahannya, yang pertama ialah ruang laboratorium yang memiliki luas atap bangunan 140 m^2 , laboratorium itu sendiri memiliki peran untuk dapat melihat kualitas getah karet yang bagus sebelum dapat diproses ataupun di ekspor ke perusahaan lainnya. Yang kedua ialah gedung kantor yang memiliki luas atap bangunan 247 m^2 yang dimanfaatkan para karyawan untuk pengelolaan perusahaan seperti administrasi dan hal lainnya, ketiga ialah pengolaha II, pengolahan II memiliki luas atap sebesar 539 m^2 yang terdiri dari 12 unit motor 3 fasa yang difungsikan untuk prayer blower dan mesin pres. Selanjutnya pengolahan I yang ada pada PT. P&P Bangkinang tersebut memiliki luas atap 1693 m^2 , dalam pengolahan I juga terdapat 33 motor 3 fasa yang terdiri dari 24 unit *conveyor* yang difungsikan untuk memindahkan bahan baku ke tahap selanjutnya yaitu penggilingan bahan baku dengan 9 unit motor 3 fasa, bahan baku tadi digiling untuk mendapatkan ketebalan karet yang sesuai.

2.3 Sel Surya (photovoltaic)

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan sel surya atau *solar cell*. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. *Elektron* akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian.

Besarnya pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Semakin pendek panjang gelombang cahaya maka semakin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir. Prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut: Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan *hole* yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Karena sel surya ini mudah pecah dan berkarat sehingga sel ini dibuat dalam bentuk modul-modul dengan ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air yang dikenal dengan modul surya (Setiawan, 2014).

2.3.1 Karakteristik *Photovoltaic*

Penyinaran cahaya matahari yang diterima sel surya sangat bervariasi setiap harinya. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukanlah pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada susunan sel surya. Untuk mengukur arus maksimum, kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan *ampermeter* akan didapatkan sebuah arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau I_{sc} . Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau V_{oc} . Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya puncak *Maximum Power Point* (MPP) yang dapat dicapai. Secara sederhana, karakteristik dari sel surya ini diterangkan lewat kurva arus terhadap tegangan (Kurva I-V). Pada kurva I-V terdapat hal-hal yang sangat penting yaitu:

2.3.1.1 Arus *Short Circuit* (I_{sc})

Arus hubung singkat sel surya adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sel surya sama dengan nol atau arus keluaran maksimum modul surya yang dikeluarkan di bawah kondisi tidak ada resistansi.

2.3.1.2 Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})

VOC adalah tegangan maksimum dari sel surya dan terjadi pada saat arus sel sama dengan nol. Tegangan rangkaian terbuka sesuai dengan jumlah bias maju pada sel surya, karena bias *junction* sel surya sama dengan arus cahaya yang dihasilkan.

2.3.1.3 Faktor Pengisian (*Fill Factor*)

Fill factor adalah salah satu besaran yang menjadi parameter unjuk kerja sel surya. *Fill factor* (FF) merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} .

2.3.1.4 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi adalah parameter yang paling umum digunakan untuk membandingkan unjuk kerja dari sel surya satu dengan yang lainnya. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio output energi dari sel surya untuk energi masukan dari matahari. Selain mencerminkan unjuk kerja sel surya sendiri, efisiensi tergantung pada spektrum, intensitas sinar matahari, dan suhu sel surya. Oleh karena itu, kondisi dimana efisiensi diukur harus dikontrol untuk membandingkan kinerja satu perangkat ke perangkat lainnya. Sel surya terestrial diukur dalam kondisi *Air Mass* (AM) 1.5 spektrum dan pada suhu 25°C .

2.3.1.5 Maximum Power Point (MPP)

Maximum power point (MPP) pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya. Hasil perkalian arus dan tegangan maksimum menyatakan Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan $4\text{ micron}(m)$. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*).

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada

modul surya yang terdiri dari sel-sel *photovoltaik*. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel fotovoltaiik dapat digabungkan menjadi modul dengan jumlah sekitar 40 sel, selanjutnya gabungan beberapa modul akan membentuk suatu PV array PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating current*). PLTS pada dasarnya adalah pecatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun secara hibrid.

2.5 Faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS

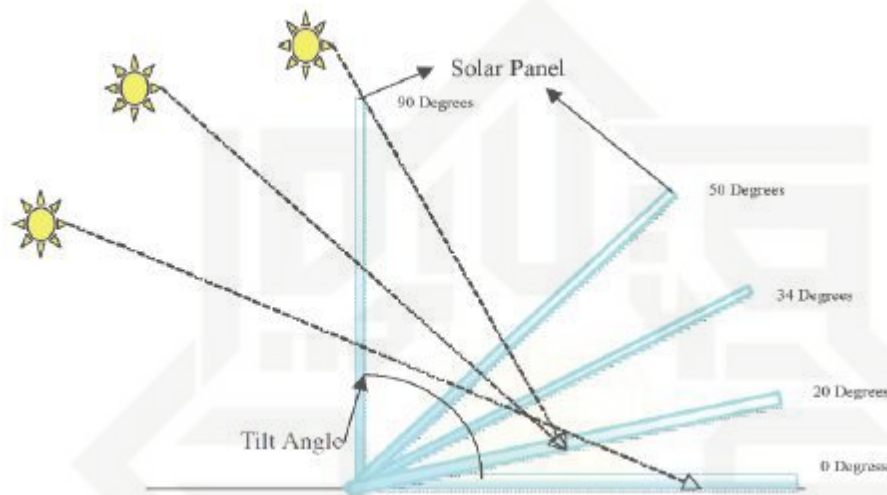
2.5.1 Radiasi

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan-bayangan yang dapat menghalangi radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain.

2.5.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari dipermukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi memberikan pengaturan dan pengamanan dalam suatu PLTS sedemikian rupa sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan handal. Peralatan pengaturan di dalam sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan kearah matahari, atau dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil. Otomatis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik. Namun dalam segi kepraktisan dan memudahkan perawatan pemasangan modul surya yang mudah dan murah adalah dengan memasang modul surya dengan posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Untuk

menentukan arah sudut kemiringan modul surya harus disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan sudut pemasangan modul surya ini berguna untuk membenarkan penghadapan modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) yang diletakan mendatar (*tilt angle* = 0°), akan menghasilkan energi maksimum (Hanif, 2012).



Gambar 2.1 Sudut Kemiringan Modul Surya.

Sumber: (Hanif M, 2012)

2.5.3 Orientasi Modul Surya

Penempatan modul surya untuk mendapatkan energi maksimum, sebaiknya modul surya ditempatkan menghadap arah selatan, meskipun arah timur atau barat juga memungkinkan tetapi jumlah listrik yang dihasilkan akan lebih rendah. Selain itu sudut peletakan modul surya tidak boleh kurang dari 10 derajat atau melebihi 45 derajat. Orientasi dari rangkaian modul surya (*array*) ke arah matahari adalah penting, agar modul surya (*array*) dapat menghasilkan energi yang maksimum. Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi utara maka modul surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan maka modul surya diorientasikan ke utara (Hanif, 2012).

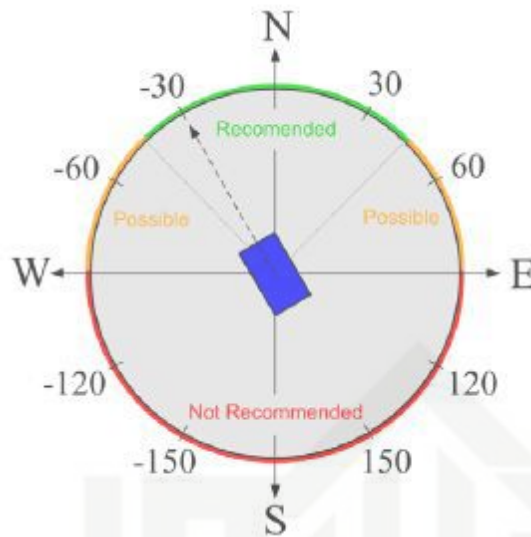
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

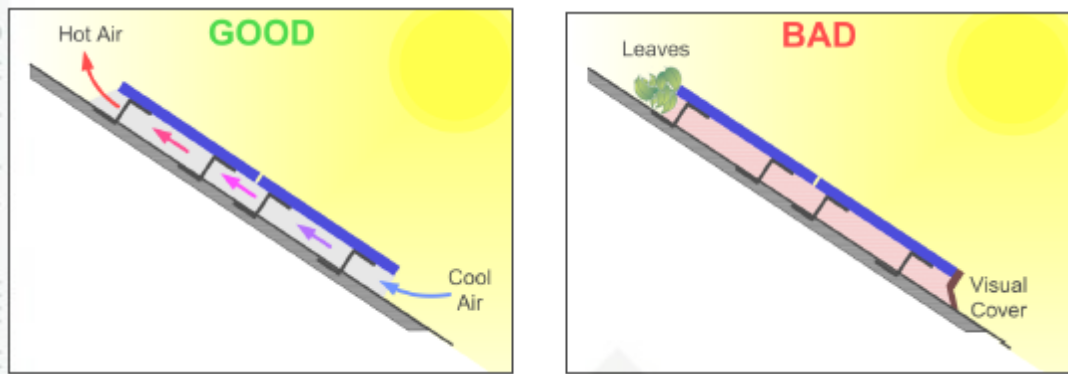


Gambar 2.2 Orientasi Modul Surya

Sumber : (Regen Power, 2011)

2.5.4 Temperatur

Kinerja sel PLTS dipengaruhi oleh suhu tersebut bahwa semakin tinggi suhu sel, semakin rendah produksi energi. Sel bisa mencapai suhu tinggi, misalnya, ketika radiasi matahari berada pada titik terkuat di musim panas sekitar tengah hari, sel dapat panas hingga sekitar 70°C . Panas yang hilang melalui bagian belakang modul dengan konveksi alami, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Untuk alasan ini, penting untuk menghindari pemanasan sel dengan membatasi aliran udara di bawah modul. Sebagai aturan sederhana, kenaikan suhu sebesar 10°C menurunkan output daya yang efektif dari sistem PV sekitar 4% - 5%. Pada saat terjadi temperatur yang tinggi, sel-sel surya kurang efisien. Energi output dari modul dipengaruhi oleh temperatur pada sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan jatuh dan ketika tegangan menurun maka, daya juga akan menurun.



Gambar 2.3 Temperatur pada Modul Surya.

Sumber : (Regen Power, 2011)

2.6 PLTS *Grid- Connected*

Sistem PLTS *Grid-Connected* atau dapat disebut PLTS *on-grid* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Sistem PLTS *Grid-Connected* bertujuan untuk menyediakan listrik yang langsung terhubung dengan jaringan listrik grid (PLN). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu:

2.6.1 Sistem dengan Penyimpanan (*Grid-Connected PV With A Battery Back Up*)

Sistem PLTS *Grid-Connected* ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai *grid connected PV system with battery backup*. Sistem ini berfungsi sebagai *backup* energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.

2.6.2 Sistem Tanpa Baterai (*Grid-Connected PV Without A Battery Back Up*)

Sistem PLTS ini tidak menggunakan *battery* sebagai backupnya. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *Grid-connected distributed PV* dan *Grid-connected centralized PV* (Setiawan, 2014).

2.7 Komponen- Komponen PLTS *Grid-Connected*

PLTS *grid-connected* umumnya terdiri dari komponen- komponen sebagai berikut :

2.7.1 Modul Surya

Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau

diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut *array*.

Sebagai sebuah komponen penghasil listrik, modul surya memiliki karakteristik tertentu berdasarkan parameter terukur sebagai berikut (ABB, 2010):

- a. *Peak Power* (W_p), menyatakan daya maksimum yang terjadi pada titik lutut (*knee point*) kurva I-V.
- b. *Peak voltage* (V_{mp}), menyatakan nilai tegangan pada titik lutut kurva I-V.
- c. *Open voltage* (V_{oc}), menyatakan nilai tegangan pada saat terminal positif dan negatif tidak ada beban atau terbuka.
- d. *Peak current* (I_{mp}), menyatakan besarnya arus yang mengalir pada titik lutut kurva I-V.
- e. *Short circuit current* (I_{sc}), menyatakan arus yang mengalir pada saat terminal positif dan negatif dihubungkan singkat.
- f. *Standard Test Conditions* (STC), memberi keterangan bahwa modul surya diuji dengan kondisi test tertentu, seperti: iradiasi = 1000 W/m^2 ; temperatur = 25°C .

2.7.1.1 Jenis Modul Surya

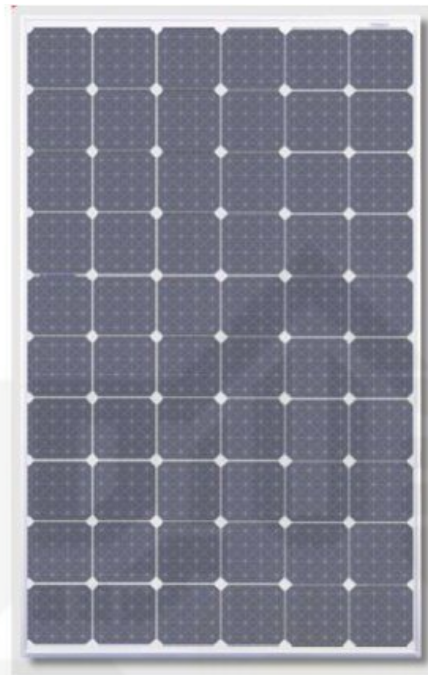
a. *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Karena sel surya berasal dari satu induk batangan kristal, maka setiap potongan memiliki karakteristik yang identik dengan yang lainnya. Sehingga efisiensi *monocrystalline* mampu mencapai 15 – 20 %, oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal daripada *Polycrystalline*.

Monocrystalline menyerap panas lebih banyak dari *polycrystalline*, itu artinya suhu permukaan *monocrystalline* akan lebih tinggi dibandingkan dengan *polycrystalline* pada lingkungan yang sama. Semakin tinggi suhu *crystal silicon*, semakin menurun kemampuannya. Pada suhu tinggi performa *monocrystalline* tidak sebaik *polycrystalline*, artinya akan terjadi penurunan performa yang lebih banyak pada modul *monocrystalline*.

Kelemahan dari sel surya tipe *monocrystalline* adalah potongan dari setiap sel surya berupa segi empat atau bulat. Sehingga apabila disusun bersama sel surya yang lainnya akan membentuk ruang kosong. Tentu saja hal ini akan mengurangi kerapatan sel

surya yang apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa tidak berguna yang cukup banyak.



Gambar 2.4 *Monocrystalline*
(Sumber: <http://www.renugen.co.uk>)

b. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikon *polycrystalline* tidak setinggi *monocrystalline* sehingga efisiensinya sekitar 13 – 16 %.

Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Akan tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang – ruang kosong antar sel surya. Selain itu, *Polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga, dalam performanya, *polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *polycrystalline* tidak panas dan dapat tetap bekerja secara maksimal.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Polycrystalline

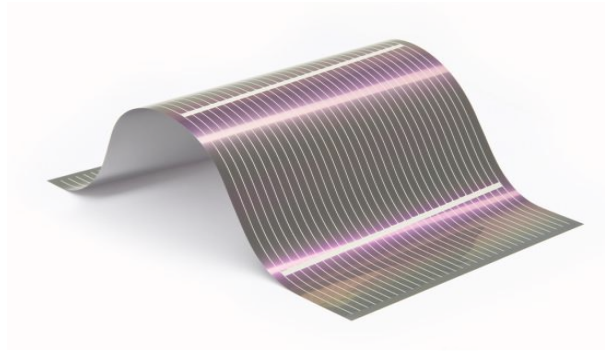
(Sumber: <http://webportal-solfex.co.uk/>)

c. **Thin Layer (FILM) Cells**

Merupakan modul surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *microcrystalline* dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline* & *polycrystalline*.

Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah. Sel surya ini dibuat dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis sehingga ringan dan fleksibel. Oleh sebab itu sering disebut juga sebagai TFPV (*thin film photovoltaic*).

Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction PV* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari modul jenis lain dengan daya yang setara.



Gambar 2.6 *Thin Layer (FILM) Cells*

(Sumber: <http://materia.nl>)

2.7.2 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung PLTS untuk mengubah arus searah DC (*direct current*) menjadi arus bolak-balik AC (*alternating current*) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri. Apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi *inverter* pada saat pengoperasian sekitar 90% (Hanna, 2012).

2.7.2.1 Jenis-Jenis Inverter

Terdapat banyak jenis inverter yang beredar dipasaran. Jenis-jenis ini mempunyai beberapa perbedaan mulai dari yang digunakan untuk *single module* hingga *arrays* dan yang digunakan untuk distribusi dalam KW atau MW. Ada tiga jenis inverter yang sering digunakan yaitu *string*, *central* dan *micro inverter*. Jenis ini dibedakan pada penggunaan jenis kabel yang digunakan:

a. Inverter Mikro (*Micro Inverter*)

Inverter mikro atau juga yang biasa disebut inverter modul dipasang dibagian belakang setiap modul surya. Inverter ini diproduksi di kisaran 100-300 W. Keuntungan inverter mikro adalah menggunakan kabel DC yang sedikit karena keluaran dari modular merupakan daya AC yang langsung diparalelkan pada setiap modul dan kemudian disambungkan ke jaringan. Keuntungan lainnya ialah, apabila untuk penambahan daya, hanya dengan menambahkan modul surya dan inverternya saja dan tidak perlu membongkar.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.7 Inverter Mikro

(Sumber: [//tandem-solar-systems.com](http://tandem-solar-systems.com))

b. Inverter string (*String Inverter*)

String inverter biasanya digunakan untuk pemasangan jaringan tersambung skala kecil (10kW atau kurang). Biasanya kapasitas *string inverter* ialah 1 kW sampai kira-kira 12 kW, ketika PLTS berkapasitas di atas 5 kW maka inverter *multi string* atau inverter terpusat dapat digunakan sebagai inverter alternatif. Setiap inverter *on-grid* memiliki fungsi sebagai MPPT dan tegangan DC inputnya bisa mencapai 1000V DC.



Gambar 2.8 *String Inverter*

(Sumber: <http://solarprofessional.com>)

c. Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Inverter terpusat ini biasanya digunakan untuk daya PLTS yang besar, sebagai contoh inverter ini digunakan pada daya dari 30 kWp (fronius) dan dari 100kWp (SMA). Inverter terpusat ini sama halnya dengan inverter string dan multi-string namun yang membedakan dengan inverter terpusat ialah array pada PLTS dapat dibagi menjadi beberapa *Sub-array*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



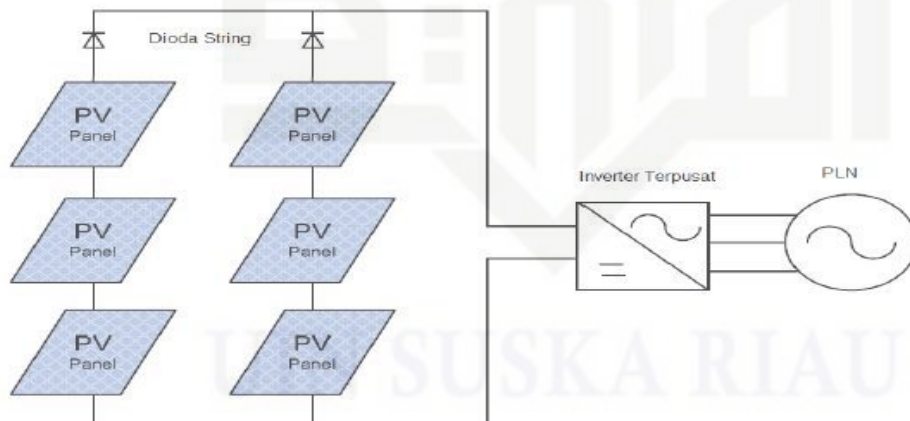
Gambar 2.9 Central Inverter

(Sumber: <http://solarprofessional.com>)

2.7.2.2 Konfigurasi Inverter

a. Konfigurasi Inverter Terpusat

Konfigurasi Inverter Terpusat yang relatif sederhana dari pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Topologi penyambungan pembangkit tipe ini paling murah, karena hanya memiliki satu inverter DC ke AC terpusat untuk string modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus DC tertentu. Kelemahan lain adalah permasalahan keandalan sistem, dengan adanya gangguan atau kerusakan pada inverter maka akan menyebabkan seluruh pembangkit berhenti beroperasi.



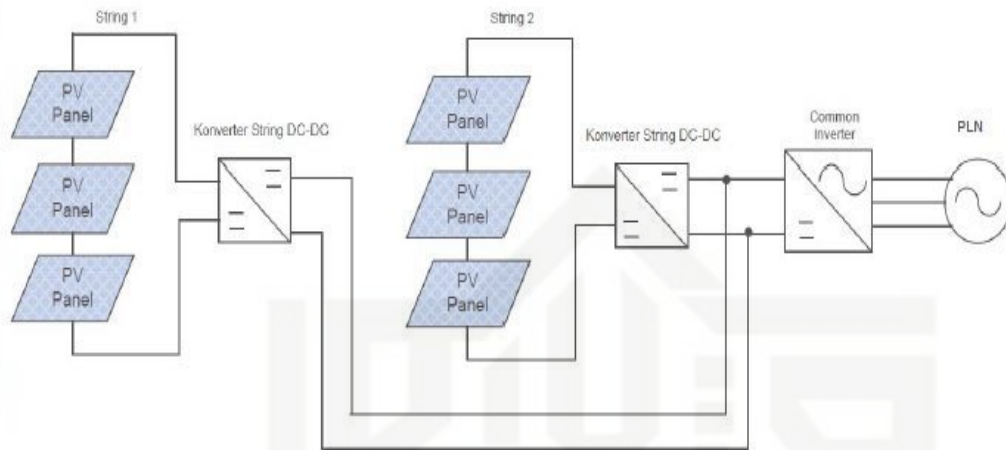
Gambar 2.10 Konfigurasi Fotovoltaik Inverter Terpusat

(Sumber: PLN, 2014)

b. Konfigurasi Multi - String Inverter

Multi string inverter menggunakan beberapa string dengan sistem pelacak MPP yang terpisah (menggunakan DC/DC konverter) terhubung ke inverter DC/AC umum untuk

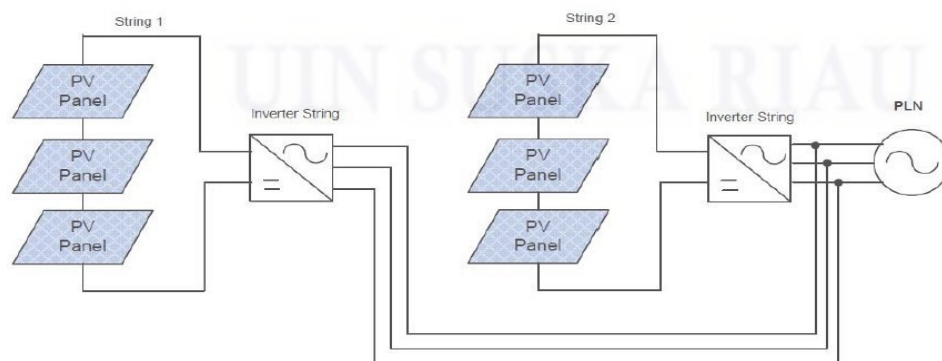
menghasilkan AC yang disalurkan ke sistem distribusi. Konfigurasi ini memungkinkan untuk mengoptimalkan efisiensi pengoperasian setiap string secara terpisah, dan integrasi berbagai orientasi surya untuk memaksimalkan produksi energi.



Gambar 2.11 Konfigurasi *Multi-String* Inverter
(Sumber: PLN, 2014)

c. Konfigurasi Inverter Multi String

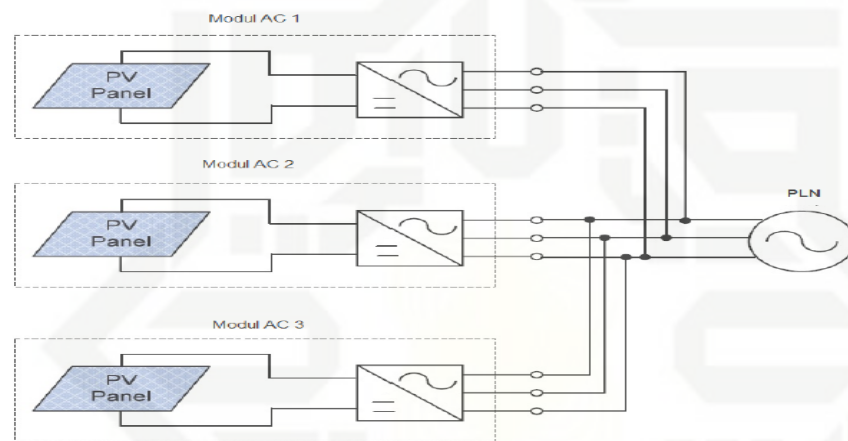
Inverter String Array mengilustrasikan yang mana rangkaian seri tunggal modul fotovoltaik dihubungkan secara seri dan string terhubung ke inverter tunggal dan ada satu inverter untuk setiap string. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah bahwa string inverter memiliki kemampuan pelacakan titik daya maksimum *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) secara terpisah dari setiap string Fotovoltaik untuk mengurangi kerugian dari ketidakcocokan dan bayangan parsial sehingga dapat meningkatkan produksi energi. Kelemahan konfigurasi ini adalah diperlukan jumlah inverter yang lebih banyak.



Gambar 2.12 Konfigurasi *Inverter-String* Inverter
(Sumber: PLN, 2014)

d. Konfigurasi Inverter Modul

Konfigurasi inverter modul dimana setiap modul fotovoltaik memiliki inverter DC/AC dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Keuntungan dari konfigurasi ini adalah desain yang sangat fleksibel sehingga mudah untuk menambahkan inverter guna meningkatkan kapasitas pembangkit listrik. Selain itu konfigurasi ini meningkatkan produksi energi dengan cara mengurangi kerugian energi dari ketidaksesuaian inverter dan meningkatkan keandalan. Kelemahan dalam konfigurasi ini adalah diperlukan biaya tambahan untuk inverter dan pemeliharaan yang relatif lebih kompleks.



Gambar 2.13 Konfigurasi *Inverter* Modul AC

(Sumber: PLN, 2014)

2.8 Keseimbangan Sistem (*Balance of System*)

Dalam sistem PLTS, terdapat komponen utama yaitu modul surya dan inverter. Selain dari pada itu, juga terdapat komponen penunjang. Komponen penunjang ini bertujuan untuk memberikan kinerja yang maksimal pada PLTS. Keseimbangan peralatan dan komponen pendukung yang lainnya haruslah terpasang dengan baik. Jika tidak, kinerja dan kehandalan sistem akan bermasalah. Kunci keseimbangan sistem pada komponen termasuk:

2.8.1 Kabel

Dalam sistem *grid connected* membutuhkan kabel terhubung, yaitu:

2.8.1.1 Kabel DC

Kabel DC adalah kabel yang berada pada sistem DC pada PLTS. Kabel DC terdiri dari kabel *string*, kaber *Array* dan kabel inverter DC .

2.8.1.2 Kabel AC

Kabel AC yang menyuplai inverter ke kWh meter menuju isolator AC inverter . Tegangan yang keluar dari inverter adalah 220V – 240V satu fasa. Sedangkan untuk sistem yang besar inverter yang digunakan adalah 380V AC tiga fasa.

2.8.1.3 Kabel Pembumian

Kabel yang digunakan untuk pembumian adalah sama halnya dengan kabel yang digunakan untuk pembumian instalasi bangunan.

2.8.1.4 Kotak Persimpangan Array

Array terdiri dari sejumlah *string* paralel, maka kabel pada *array* akan saling berhubungan di sebuah kotak persimpangan (*junction box*). Terkadang disebut dengan *DC combiner box*. Sebuah kotak persimpangan umumnya juga terdapat di rumah untuk instalasi skring pada PLTS.

2.8.2 Perangkat Pemutus

a. Isolator DC pada PLTS

Isolator DC pada PLTS ialah sebuah alat yang sama jenisnya dengan *DC circuit breaker*. Alat ini digunakan sebagai saklar penghubung dan memutus. Namun, harus dipasang pada arus DC. Alat ini biasanya dipasang diantara PLTS dan inverter. Alat ini terbagi dua yaitu isolator yang memiliki polaritas dan isolator yang tidak memiliki polaritas.

b. Isolator AC pada PLTS

Peletakan isolasi saklar manual harus dipasang diantara inverter dan jaringan listrik. Ini di anjurkan untuk menempatkan bahwa sisi inverter yang terdapat perangkat metering PLTS.

2.8.3 Meteran

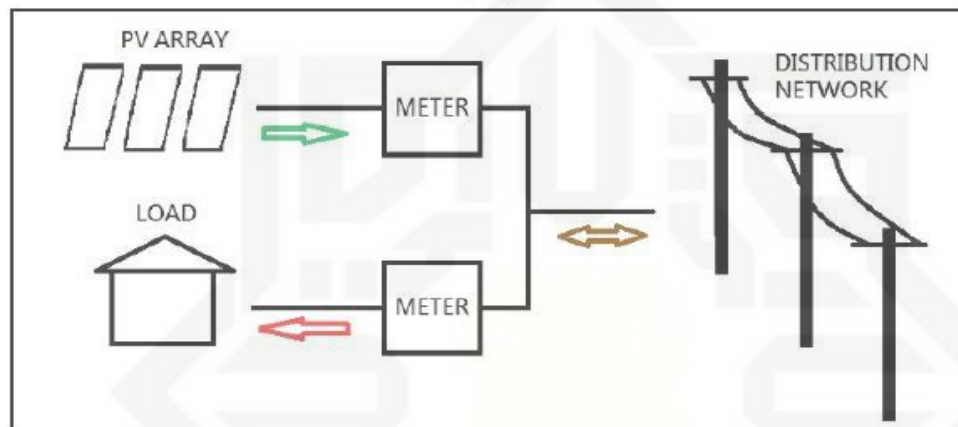
Meter listrik mencatat energi listrik dalam kWh yang dikonsumsi oleh beban di dalam suatu gedung. Meteran ini mencatat jumlah energi yang dikonsumsi dalam satuan kWh. Listrik yang digunakan oleh konsumen kemudian ditagih dan untuk penagihan listrik ini berdasarkan tarif yang ditetapkan.

Ada banyak jenis meter yang tersedia. Meteran sederhana adalah perangkat mekanis dengan disk yang berputar dikalibrasi yang berputar Ketika listrik sedang dikonsumsi. Sebuah meter digital yang lebih maju dapat 'dia waktu hari bahwa energi adalah dikonsumsi. Jenis meteran digunakan ketika tarif listrik bervariasi pada waktu hari yang berbeda.ada

beberapa jenis meter yang akan dipasang dengan sistem PLTS *grid-connected* tergantung pada persetujuan pembelian dengan distributor listrik yaitu :

a. **Meteran Bruto**

Meteran bruto adalah pengaturan meteran di mana pengukuran jumlah tenaga listrik yang diekspor dan yang diimpor dilakukan secara terpisah. Seluruh tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara efektif diekspor ke jaringan dan dapat diperlakukan secara terpisah dari tenaga listrik yang dikonsumsi oleh pengguna.



Gambar 2.14 Konfigurasi Meteran Bruto.

(Sumber : ESDM, 2015)

b. **Meteran Neto**

Meteran neto adalah pengaturan meteran di mana tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS pertama-tama dikonsumsi dulu di tempat dan yang diekspor ke jaringan hanya kelebihan daya dari PLTS setelah dikonsumsi di tempat ini. Nilai meteran “Neto” adalah jumlah tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS dikurangi total konsumsi listrik. Apabila daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS melebihi konsumsinya, ada ekspor bersih/neto ke jaringan dan apabila konsumsi melebihi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS ada impor bersih tenaga listrik.

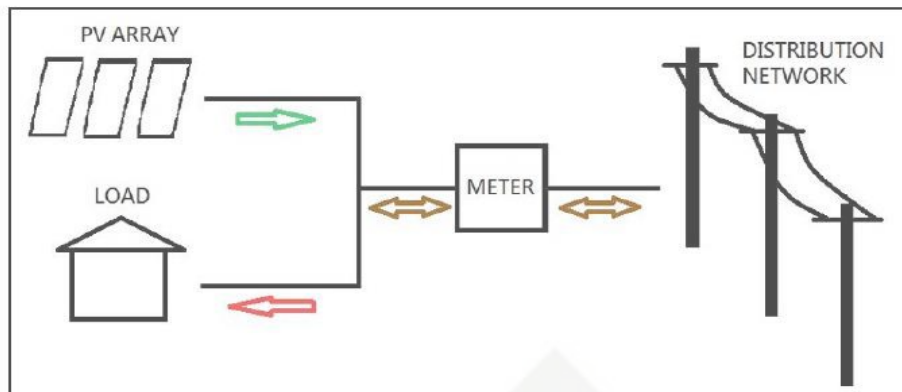
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.15 Konfigurasi Meteran Neto

(Sumber : ESDM, 2015)

2.9 Losses pada PLTS Grid-Connected

Semua energi matahari yang terdapat pada PLTS tidak sepenuhnya dikirim ke jaringan (*grid*). Hal ini disebabkan oleh faktor pengurangan (*losses*) yang mempengaruhi konversi listrik yang dihasilkan oleh PLTS ke jaringan PLN (*grid*). Setiap faktor-faktor tersebut dapat mengurangi efisiensi dari keseluruhan sistem PLTS. Faktor tersebut yaitu:

2.9.1 Temperatur Modul Surya

Pada saat terjadi temperatur yang tinggi, sel-sel surya kurang efisien. Energi keluaran dari modul dipengaruhi oleh temperatur pada sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan menurun sehingga daya pada sel juga akan menurun. Besarnya efek turunnya tegangan tersebut tergantung pada tipe dari sel surya, rata-rata koefisien suhu pada modul *cristaline* dapat mencapai $0.5 \% V/^{\circ} C$ sedangkan rata-rata pengurangan modul *thin film* mencapai $0.1-0.4\% V/^{\circ} C$.

2.9.2 Kotoran (Soilage)

Kotoran dapat menumpuk di atas permukaan modul surya, tidak semua cahaya matahari sampai ke sel pada modul dan berakibat pada energi keluaran yang menurun. Seberapa banyak kotoran mempengaruhi energi keluaran akan bergantung pada sumber dan faktor-faktor yang mempengaruhi efek kotoran.

Kotoran (*soilage*) adalah bentuk lain dari *shading* terjadi ketika sebuah kotoran terendapkan pada modul. Kotoran tidak membuat sistem berhenti berfungsi sepenuhnya. Sistem masih bekerja namun dengan output keluaran PLTS sedikit berkurang. Biasanya

curah hujan akan mencuci modul untuk mencegah akumulasi kotoran yang berada pada modul, namun di daerah-daerah yang sangat berdebu dan kering mungkin perlu untuk membersihkan modul menggunakan selang air.

Kotoran modul surya dapat mengurangi efisiensi keluaran PLTS. Kotoran yang terdapat pada modul tidak dapat diukur secara pasti namun, hal ini dapat diasumsikan jika lokasi sangat kotor atau berdebu dengan sedikit hujan, kerugian efisiensi 10%, yang berarti efisiensi yang dihasilkan dari 90% atau mungkin kurang dan jika ada hujan biasa maka faktor 0,95 atau di atas diharapkan. (GSES, 2013)

2.9.3 Toleransi Pabrikasi (*Manufacture Tolerance*)

Modul diproduksi dengan rating daya yang ditentukan dan spesifikasi pabrikasi. Sebuah modul memiliki toleransi pabrikasi yang biasanya terdapat pada data sheet produk toleransi pabrikasi pada modul menunjukkan potensi 'negatif' kehilangan daya. Misalnya spesifikasi pabrikasi $160W \pm 4\%$ output solar modul / array harus didasarkan pada jumlah minimum daya dikutip untuk PV, yaitu contoh di atas: 160 Watt - 4%. dikutip 4% loss contoh yang sama efisiensi 96%. maka sebuah modul hanya bisa memproduksi 96% dari kinerja maksimal modul tersebut. Simbol fmm digunakan pada faktor toleransi pabrikasi dan mewakili presentasi kehilangan.

2.9.4 Bayangan (*Shading*)

Bayangan pada array yang terjadi disiang hari akan mempengaruhi daya keluaran. Analisa rinci pada setiap terjadinya bayangan pada array diharapkan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya bayangan pada array. Efek bayangan dapat mengurangi radiasi matahari dan berakibat pada penurunan energi yang dihasilkan oleh sistem. Namun, ketika bayangan hanya terjadi di sebagian array, maka akan ada pengurangan tegangan maksimum. Sehingga, pengurangan pada energi maksimum akan terjadi pada array. Efek bayangan dapat menimbulkan permasalahan apabila:

1. Jika terjadi bayangan pada array, tegangan maksimum yang akan masuk ke inverter mungkin akan menurun dan juga akan sangat mengurangi output inverter.
2. Jika menggunakan string inverter dan terdapat beberapa string modul surya, shading pada satu string dapat mempengaruhi output string lainnya. Inverter dapat melacak tegangan yang rendah untuk mendapatkan arus yang lebih tinggi.

Dalam kedua situasi diatas, sulit untuk memprediksi *output* keluaran pada *array*, dan sebagian inverter memiliki respon yang berbeda. Cara lain untuk menghindari masalah tersebut adalah menemukan dan memasang *array* pada daerah yang sedikit bahkan tidak ada bayangan pada siang hari.

2.9.5 Efisiensi Inverter

Setiap inverter mempunyai efisiensi yang ditunjukkan pada spesifikasi dan data sheet produk. Efisiensi inverter tergantung pada input sebenarnya dari *array*. Untuk menghindari kurang efisiensinya maka kita harus memperhatikan input yang masuk dari *array*, karena jika input berlebih maka efisiensi berkurang. Selain itu, karena efisiensi inverter secara langsung berkaitan pada suhu operasi maka, saat pemasangan inverter penting dilakukan untuk tidak memasang inverter dibawah matahari langsung. Selain itu, pada saat pemasangan inverter haruslah memiliki ventilasi yang tepat agar inverter dapat beroperasi dengan efisiensi maksimum

2.9.6 Pengurangan Sistem

Output daya dari PLTS akan mengurangi perlahan-lahan dari waktu ke waktu, biasanya sebesar 0,5% per tahun. Ini berarti bahwa sistem akan kehilangan efisiensi 12% setelah 25 tahun beroperasi. Garansi pada output daya dari modul menjamin degradasi kurang dari 0,9% per tahun, sehingga menghasilkan efisiensi minimal 80% setelah 25 tahun.

Tabel 2.1 Pengurangan Sistem dari Waktu Ke Waktu.

Degradation	Year of Operation					
	0	5	10	15	20	25
0.5% pa	100%	98%	95%	93%	90%	88%
0.9% pa	100%	96%	91%	87%	83%	80%

Sumber : Regen Power (2011)

2.10 Perancangan Sistem PLTS *Grid-Connected* secara manual

Dalam perancangan ada beberapa kriteria penentuan desain pada penelitian PLTS sistem PLTS ada beberapa tahap yang digunakan seperti mengkonfigurasi sistem perancangan, namun perancangan manual ini mengikut kepada pedoman buku *Garuda Sustainable Energy Solution* (GSES, 2013).

2.10.1 Penilaian Lokasi PLTS

Karakterisasi situs dan Penilaian Sebuah karakterisasi situs rinci memberikan informasi yang diperlukan untuk desain sistem PLTS. Bagian pertama dari penilaian situs adalah untuk mengkarakterisasi kondisi fisik lokasi PLTS: Menentukan lintang, bujur, ketinggian, orientasi atap gedung, denah atap, menunjukan atap yang digunakan untuk instalasi PLTS, menghitung total luas, kemiringan dan metode pemasangan.

2.10.2 Penilaian Radiasi Matahari

Ada dua sumber utama data untuk radiasi matahari di permukaan bumi yaitu pengukuran secara langsung dan perhitungan berdasarkan data satelit. Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada lokasi tertentu, biasanya dalam satuan kWh/m²/hari. Data insolasi matahari lebih digunakan untuk merancang sistem PLTS. Perhitungan radiasi matahari berdasarkan perhitungan secara global atau langsung yang diambil selama siang hari. Perhitungan biasanya menggunakan *pyranometer* atau *pyrheliometer*. Dibeberapa lokasi, data ini dikumpulkan lebih dari 20 tahun. Dalam perhitungan berdasarkan data satelit yang terdapat pada *meteorological database*, termasuk *database online* yang memiliki informasi tentang radiasi matahari ini. Diantaranya adalah *Photovoltaic Geographical System (PVGIS)* dan *database* dari *Surface Meteorological and Solar Energy (SMSE)* dari NASA.

2.10.3 Analisa Shading

Sangat penting untuk memahami bayangan (*shading*) pada atap, terutama di daerah perkotaan di mana bangunan sekitarnya dan struktur dapat menghasilkan bayangan di atas atap. Bahkan sebagian kecil dari bayangan (*shading*) pada PLTS dapat secara signifikan mengurangi *output* energi yang dihasilkan. Idealnya, semua bagian atap harus tidak terdapat bayangan selama minimal 6 jam sehari antara itu 09:00-03:00. Analisis *shading* harus dilakukan untuk semua jam sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini membantu dalam pemilihan lokasi terbaik untuk memasang modul surya dan memberikan estimasi yang lebih akurat dari output tahunan dari sistem PLTS.

2.10.4 Pemilihan Modul Surya

Ada tiga jenis utama dari modul surya PV yang tersedia di pasar komersial yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline* dan *Thin film*. Pemilihan modul surya sangat penting dalam

menentukan *design* sistem, pemilihan modul surya ditentukan berdasarkan efisiensi modul, area modul dan biaya.

Sebuah daerah atau bangunan yang cocok untuk sistem panel surya yang telah disepakati dengan pelanggan selama kunjungan lokasi, terkait untuk survei bangunan yaitu: orientasi, tilt, area yang tersedia. Sistem panel surya tersebut di pilih berdasarkan spesifikasi modul surya yang diinginkan. Modul tersebut kemudian dipilih sesuai dengan:

- bahan sel: mono-kristal, *polyCrystalline*, *amorphous*, CdTe atau CIS, atau teknologi *Thinfilm*; dan
- Jenis Modul: Modul standar dengan / tanpa bingkai, modul kaca-kaca, genteng PV, dan lain-lain.
- Untuk mendapatkan keuaran yang maksimal, dalam pengoperasian panel surya salah satu faktor yang mempengaruhi adalah suhu, berkurangnya daya panel surya terjadi saat suhu mengalami kenaikan. Pengurangan daya panel surya tersebut ditunjukkan melalui persamaan berikut:

$$P_{\text{saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}} = 0.5\%/^{\circ}\text{C} \times P_{\text{mpp}} \times \Delta T \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

- $P_{\text{saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}}$ = Daya saat suhu naik dari suhu standar (W)
- P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel (Wp)
- ΔT = Kenaikan suhu dari temperatur standar ($^{\circ}\text{C}$)

Daya maksimum panel surya saat temperatur lingkungan naik dari temperatur standarnya (25°C) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$P_{\text{MPP saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}} = P_{\text{mpp}} - P_{\text{saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- $P_{\text{MPP saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}}$ = Daya maksimal panel surya saat kenaikan temperatur (W)
- P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel (Wp)
- $P_{\text{saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}}$ = Daya saat suhu naik dari suhu standar (W)

Dari persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung faktor koreksi suhu. Faktor koreksi suhu (*temperature correction factor*) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$TCF = \frac{P_{\text{MPP saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}}}{P_{\text{mpp}}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

- $P_{\text{MPP saat } t(^{\circ}\text{C}) \text{ naik}}$ = Daya maksimal panel surya saat kenaikan temperatur (W)

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel (W)

Dalam menentukan luas area energi panel surya dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$PV_{area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{sistem}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

PV_{area} = Luas area *array* (m^2)

E_L = Pemakaian energi (kWh/hari)

G_{av} = Radiasi matahari rata-rata harian ($kWh/m^2/hari$)

η_{pv} = Efisiensi panel surya (%)

TCF = Faktor koreksi suhu

η_{sistem} = Efisiensi Sistem PLTS (%)

Besar daya panel surya yang dibangkitkan oleh luas area *array* panel surya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = PV_{area} \times PSI \times \eta_{pv} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

P = Daya panel surya yang dibangkitkan luas area *array* (Wp)

PSI = *Peak Sun Insolation* ($1000 W/m^2$)

η_{pv} = Efisiensi panel surya (%)

Dengan menggunakan persamaan 2.7 diatas, untuk menghitung jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Jumlah\ panel\ surya = \frac{P}{P_{mpp}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

P = Daya panel surya yang dibangkitkan luas area *array* (Wp)

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel (Wp)

2.10.5 Sistem Pemasangan (*Mounting System*)

Dua jenis utama dari sistem pemasangan PLTS yang digunakan yaitu sistem pemasangan di atap dan di tanah. Pada penelitian ini pemasangan yang digunakan di atap gedung (*rooftop*).

2.10.6 Pemilihan Inverter

Pemilihan inverter berkaitan dengan kapasitas modul yang terpasang. inverter mengubah listrik DC dari PV array surya untuk listrik AC dengan memaksimalkan output PLTS. Ada tiga jenis inverter surya umum digunakan: inverter string, inverter central dan inverter mikro.

2.10.7 Matching PV Array dengan Inverter

Ketika merancang sebuah sistem PLTS *grid-connected* jenis modul PV yang dipilih dan jenis inverter yang dipilih harus diperhitungkan. Untuk menghasilkan daya output yang optimal pada PV array harus disesuaikan dengan inverter. Langkah-langkah berikut ini digunakan untuk menentukan ukuran array (GSES, 2013).

1. Menyesuaikan array dengan spesifikasi tegangan inverter,
2. Menyesuaikan array dengan *current rating* inverter.
3. Menyesuaikan array dengan *power rating* inverter.

2.10.7.1 Menyesuaikan Array dengan Spesifikasi Tegangan Inverter

a. Minimum Tegangan Inverter

Modul surya memiliki tegangan terendah di cuaca hangat. array harus dirancang sehingga tegangan VMP array pada suhu operasi tertinggi tidak jatuh di bawah tegangan MPPT minimum pada inverter (GSES, 2013). Dengan persamaan 2.7

$$VMP\ cell\ Eff = Vmp\ stc - [\gamma_v \times (T - T_{stc})] \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

VMP STC = Tegangan MPP pada kondisi pengujian standar (STC),

γ_v = Koefisien suhu VMP

T = Temperatur udara ambien maksimum pada modul

T stc = Temperatur STC

b. Maksimum Tegangan Inverter

Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan VOC modul berada pada titik tertinggi. Tegangan VOC digunakan sebagai pengganti tegangan VMP karena tegangan VOC lebih tinggi dan sebagai tegangan maksimum yang disediakan untuk inverter ketika array terhubung. Tegangan VOC Modul adalah nilai pertama yang dihitung dengan persamaan (2.2):

$$V_{oc} = V_{oc-stc} - [\gamma_{voc} \times (T - T_{stc})] \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

$V_{OC\ STC}$ = Tegangan rangkaian terbuka di STC (V)

γ_{voc} = Koefisien temperatur VOC

T = Temperatur modul diharapkan terendah di temperatur yang ditentukan (°C)

T_{stc} = Temperatur modul STC (°C)

Perhitungan untuk VOC tidak diukur untuk modul PV selama musim dingin atau musim panas, nilai STC karena itu digunakan bersama dengan faktor keamanan 5% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi.

$$V_{inverter} = V_{max\ input} \times 0.95 \dots \dots \dots (2.9)$$

Jumlah maksimum modul dihitung persamaan 2.4 dengan membagi tegangan inverter dengan V_{oc} modul.:

$$\text{Jumlah modul} = V_{inverter} / V_{oc\ mod} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.10.7.2 Menyesuaikan Array dengan Current Rating Inverter

Hal ini penting untuk memastikan bahwa arus maksimum yang dihasilkan oleh array lebih rendah dari arus maksimum *input* inverter. Jumlah *string* paralel array dari dihitung dengan menggunakan arus hubungan singkat (ISC).

$$I_{sc\ mod} = I_{sc-stc} - [\gamma_{voc} \times (T - T_{stc})] \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

I_{SC-STC} = Tegangan rangkaian terbuka di STC (A)

γ_{voc} = Koefisien Temperatur untuk VOC

T = Temperatur modul diharapkan terendah di temperatur yang ditentukan (°C)

T_{tsc} = Temperatur modul STC (°C)

Jumlah maksimum string dihitung persamaan (2.6) dengan membagi tegangan inverter dengan V_{oc} modul :

$$\text{Jumlah string} = V_{inverter} / I_{sc\ mod} \dots \dots \dots (2.12)$$

2.10.7.3 Menyesuaikan Array dengan Power Rating Inverter

Ketika mencocokkan array ke inverter, perhitungan untuk arus, tegangan dan daya perlu dilakukan untuk memastikan ukuran yang benar dari sistem PV. Perhitungan arus dan tegangan dilakukan untuk menghitung jumlah string dan jumlah modul dalam sebuah string.

Perhitungan daya dilakukan untuk menemukan jumlah maksimum modul diperbolehkan dalam sistem (GSES, 2013). Dengan inverter dan modul yang dipilih, jumlah maksimum modul dalam *array* adalah:

$$\text{Ukuran array} = \text{maksimum daya inverter} \div \text{daya modul} \dots (2.13)$$

2.10.8 Sistem Proteksi *Sub-Array* dan *Array*

Menurut *draft* IEC 62548: *Design requirements for Photovoltaic (PV) arrays*, *fuse (DC isolator)* pada PLTS dihitung pada *rating* :

$$1.5 \times ISC < ITRIP < 2.4 \times ISC \dots (2.14)$$

Perangkat proteksi *Sub- Array* ditentukan pada nilai :

$$1.25 \times I_{sc} \text{ SUB ARRAY} < I \text{ TRIP} < 2.4 \times I_{sc} \text{ SUB ARRAY} \dots (2.15)$$

Misalkan I_{sc} dari modul adalah 5.73A maka *fuse* string yang harus diperoleh antara 8.59A dan 13.75A maka pada kondisi ini dipilih sekering (*fuse*) 10 A. Untuk *sub-array* dengan 10 string terhubung paralel sirkuit pemutus (*circuit breaker*) *sub-array* diperoleh antara 71.62A dan 137.52A oleh karena itu dapat dipilih *circuit breaker* 72A.

Untuk *sub-array* dengan 9 string terhubung paralel, *circuit breaker* untuk perlindungan *sub-array* harus berada antara 64.46A dan 123.76A. Pada kondisi ini, dipilih *circuit breaker* 65A. Catatan: juga bisa memilih untuk memiliki perangkat 72A.

PV *Array* DC isolator akan terletak pada kotak persimpangan *array* sebelum masuk ke inverter. maka arus minimal DC isolator ditentukan pada *rating* nilai :

$$1.25 \times ISC \text{ ARRAY} < I \text{ TRIP} \dots (2.16)$$

Ini akan memperoleh *circuit breaker* setidaknya 208A.

Menurut Draft IEC 62.548: *Design requirements for Photovoltaic (PV) arrays*, tegangan semua perlindungan dan perangkat pemutusan, serta kabel, tegangan maksimum $V_{DC} \text{ ARRAY}$ ditentukan pada suhu minimum.

$$V_{OC} \text{ ARRAY} = \text{No. Mod} \times \text{Max Voc modul} \dots (2.17)$$

2.10.9 *Cable sizing*

Kabel adalah bagian penting dari desain sistem PLTS, baik untuk alasan keselamatan dan efisiensi. Ukuran kabel harus benar sesuai konduktor dan isolasi apabila kabel berukuran dibawah kemampuannya maka kabel dapat menyebabkan bahaya kebakaran. ukuran kabel yang benar adalah akan minimal drop tegangan dan ukuran kabel tidak lebih besar saat ini dalam kabel tidak akan lebih besar dari kemampuan kabel. Ada arus dan

tegangan di berbagai bagian dari sistem PV yang berbeda. Oleh karena itu kabel sistem PV dibagi menjadi string, array dan kabel AC (GSES,2013)

$$A = 2 \times L \times I \times \rho / (\text{loss} \times V_d) \dots (2.18)$$

Keterangan:

ρ = Resistivitas kawat tembaga 0,0183 Ω mm²/m

l = Panjang kabel (meter)

I = Arus melalui kabel (*ampere*)

A = Luas penampang (mm²)

2.11 Hasil produksi Energi Sistem PLTS

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS ditentukan oleh beberapa faktor utama yaitu ukuran PV *array*, radiasi matahari dan efisiensi sistem pada PLTS

2.11.1 Menentukan Output dari PLTS ke *Grid-connected*

Dalam merancangan sistem PLTS penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem itu. Jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PV tergantung pada sejumlah faktor, tetapi faktor utama adalah:

- Ukuran PV *array*
- Jumlah iradiasi (sinar matahari) yang diterimanya
- Total efisiensi sistem yaitu berapa besar daya yang dihasilkan setelah semua kerugian telah dihitung dan diterapkan.

Hasil produksi energi dari PV *array* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = \text{Ukuran PV array} \times H_{tilt} \times \text{Losses} \quad (2.19)$$

Hasil produksi energi dari PV *array* dalam 1 tahun dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = 365 \times \text{Ukuran PV array} \times H_{tilt} \times \text{Losses} \quad (2.20)$$

Keterangan :

E_{array} = Rata-rata keluaran energi dari PV *array* (Wh)

PSTC = Output daya dinilai modul STC (W)

Losses = Total kerugian diterjemahkan ke dalam efisiensi (%)

H_{tilt} = Radiasi matahari, (1 PSH = 1 kWh / m²)

N = Jumlah modul dalam *array*

2.11.2 Rasio Performa (*Performance Ratio*)

Rasio performa didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi PV dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV di bawah kondisi uji standar (STC). Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut (Sivertsen, 2014):

$$\text{Rasio Performa} = \text{hasil produksi energy} / \text{produksi energy teoritis} \quad (2.21)$$

2.11.3 Faktor kapasitas (*Capacity Faktor*)

Faktor kapasitas / *Capacity Faktor* pembangkit listrik adalah rasio output aktual dari pembangkit listrik selama periode waktu dan output potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Secara matematis, faktor kapasitas adalah jumlah total energi pabrik yang dihasilkan selama periode waktu dibagi dengan jumlah energi PLTS akan menghasilkan pada kapasitas penuh. Faktor kapasitas sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan desain pabrik. Hal ini juga menyediakan alat untuk perbandingan kinerja dari berbagai jenis pembangkit listrik. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut (Sivertsen, 2014):

$$\text{Capacity factor} = \text{hasil produksi energy} / \text{kapasitas PV} \times (365 \text{ day/years}) \times 24 \text{ h} \quad (2.22)$$

2.12 Aspek Ekonomi Secara Manual

Dalam pembangunan PLTS ada beberapa aspek ekonomi yang harus diperhatikan yaitu aspek biaya dan aspek finansial agar menghasilkan manfaat ekonomi yang baik dan kondisi daya yang bagus (GSES, 2013)

2.12.1 Aspek biaya

Aspek biaya dalam pembangunan meliputi biaya modal, perawatan dan penggantian dari berbagai komponen. Adapun aspek biaya dalam PLTS adalah:

2.12.1.1 Biaya Awal (*Capital Cost*)

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan diawal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lain-lain (Giatman, 2005).

2.12.1.2 Biaya Operasional (*Operational Cost*)

Biaya operasional (*operational cost*) adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama (Giatman, 2005).

2.12.1.3 Biaya Perawatan (*Maintenance Cost*)

Biaya perawatan (*maintenance cost*) adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga/menjamin *performance* agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Contohnya adalah biaya untuk mengganti salah satu alat pendukung sistem apabila terjadi kerusakan (Giatman, 2005).

2.12.2 Analisa *Financial*

Dalam rangka untuk menilai apakah proyek dapat diterima atau tidak teknik analisa *financial* terlebih dahulu melakukan analisa terhadap *Net Present Value* (NPV), *Internal rate of return* (IRR) dan *simple payback* (SP) .

2.12.2.1 *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*diccount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan (Halim, 2009).

Keterangan pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut:

- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah 0 maka itu berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan maka proyek tersebut telah memberikan hasil yang sebanding dengan nilai investasi yang dikeluarkan.

Dengan menggunakan persamaan 2.23 kita dapat mengetahui nilai dari NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^N R_t * (((1 + i)^t - 1)/i * (1 + i)^t) - R_{to} * (1 + i)^t \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan:

- i = tingkat diskonto (%)
- N = jumlah total periode (tahun)
- R_t = arus kas masuk pada tahun t (Rp)
- R_{to} = investasi awal + arus kas keluar proyek (Rp)

2.12.2.2 life cycle cost (LCC)

Analisis Energi listrik berdasarkan berapa banyak yang terpasang per kwh, jadi biaya per kwh untuk sistem pv grid-connected perlu ditentukan. Hal ini dapat ditentukan dengan siklus perhitungannya.

Untuk melakukan analisis biaya yang lebih terperinci dengan sistem pv diperlukan analisis biaya siklusnya, namun untuk melakukannya perlu diperhitungkan semua biaya yang diasosiasikan dengan mengoperasikan sistem tersebut selama masa pengoperasiannya dan mengubah biaya kumulatif menjadi nilai awal produksi (GSES, 2013) . Ada beberapa cara untuk mengetahuinya:

- Tentukan biaya modal awal komponen
- Tentukan biaya operasi dan perawatan yang diasumsikan pada masing masing komponen
- Tentukan masa pemakaian komponen dan biaya perawatan

Analisa ini merupakan cara yang akurat dan relevan untuk memberikan informasi kepada konsumen dari sistem operasi.

2.12.2.3 Simple payback

Simple payback adalah Pengembalian modal adalah analisis ekonomi pada sistem PV *grid-connected* metode paling mudah untuk dipahami. Dalam PLTS *simple payback* bertujuan menghitung jumlah waktu yang diperlukan untuk memulihkan biaya Investasi berdasarkan penghematan biaya energi tahunan (GSES, 2013).

$$T = \frac{C}{S} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

T = periode dana kembali, selama 1 tahun

C = biaya modal awal bersih PLTS (biaya sistem dan kredit telah dikurangi)

S = biaya energi listrik yang terjual

2.13 Aspek Emisi

2.13.1 Analisa Pengurangan Emisi

Analisis potensi reduksi emisi CO₂ melalui pembangunan PLTS dilakukan dengan mengurangi jumlah energi listrik dari pembangkit berbahan bakar fosil dan mengganti dengan PLTS. Pemanfaatan PLTS *grid-connected* merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca.

Pemanfaatan PLTS merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca (Waskito, 2011).

Analisis potensi reduksi emisi CO₂ melalui pembangunan PLTS dilakukan dengan mengurangi jumlah energi listrik dari pembangkit berbahan bakar fosil dan mengganti dengan PLTS. Berdasarkan pada penggunaan energi listrik yang berasal dari pembangkit berbahan bakar fosil dapat diketahui rata-rata faktor emisi CO₂ pembangkit berbahan bakar fosil adalah 0.743 kg CO₂/kWh, kemudian dihitung potensi pengurangan CO₂ dengan pergantian tersebut. Artinya untuk menghasilkan energi listrik 1 kWh melalui pembangkit berbahan bakar fosil dihasilkan emisi CO₂ sebesar 0.743 kg (Indralaksono, 2009).

Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut:

Menghitung emisi CO₂. Persamaan yang digunakan adalah:

$$eCO_2 = KWh \times ef \quad (2.25)$$

Keterangan:

eCO_2 = Emisi CO₂ (tCO₂)

$A kWh$ = Produksi energi listrik pertahun (MWh)

ef = *emission factor*

2.14 PVSyst

PVSyst merupakan paket *software*/perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari *MeteoNorm V 6.1* (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), *NASA-SSE* (1983-2005), *PVGIS* (untuk Eropa dan Afrika), *Satel-Light* (untuk Eropa), *TMY2/3* dan *SolarAnywhere* (untuk USA), *EPW* (untuk Kanada), *RetScreen*, *Helioclim*, dan *SolarGIS* (berbayar).

PVSYST V6.53 adalah paket perangkat lunak PC untuk studi, ukuran dan analisis data dari sistem PV lengkap. Ini berkaitan dengan sistem PV *grid-connected*, berdiri sendiri, memompa dan *DC-grid* (angkutan umum), dan termasuk luas meteo dan PV sistem komponen *database*, serta umum alat energi surya. Perangkat lunak ini ditujukan untuk kebutuhan arsitek, insinyur, peneliti. Hal ini juga sangat membantu untuk pelatihan pendidikan. PVSYST V6.53 menawarkan 3 tingkat studi sistem PV, kira-kira sesuai dengan tahapan yang berbeda dalam pengembangan proyek nyata:

1. Desain awal (*Preliminary design*): ini adalah langkah *pre-sizing* proyek.

Dalam mode ini evaluasi hasil sistem dilakukan dengan sangat cepat dalam nilai-nilai bulanan, hanya menggunakan sangat sedikit karakteristik sistem umum atau parameter, tanpa menentukan komponen sistem yang sebenarnya. Sebuah perkiraan kasar dari biaya sistem juga tersedia. Untuk sistem *grid-connected*, dan terutama untuk membangun integrasi, tingkat ini akan arsitek-oriented, yang membutuhkan informasi tentang daerah yang tersedia, teknologi PV (warna, transparansi, dll), daya yang diperlukan atau investasi yang diinginkan. Untuk sistem yang berdiri sendiri alat ini memungkinkan untuk ukuran daya PV dan baterai kapasitas yang diperlukan, mengingat profil beban dan probabilitas bahwa pengguna tidak akan puas. Untuk sistem pompa, kebutuhan air diberikan dan kedalaman untuk memompa, dan menentukan beberapa pilihan teknis umum, alat ini mengevaluasi kekuatan pompa dan ukuran array PV diperlukan. Adapun sistem yang

berdiri sendiri, ukuran ini dapat dilakukan sesuai dengan probabilitas tertentu yang kebutuhan air tidak terpenuhi sepanjang tahun.

2. Desain Proyek (*Project Design*): bertujuan untuk melakukan desain sistem menyeluruh menggunakan simulasi jam rinci. Dalam kerangka "proyek", pengguna dapat melakukan simulasi sistem yang berbeda berjalan dan membandingkan mereka. Dia harus menentukan orientasi pesawat (dengan kemungkinan pelacakan pesawat atau gudang pemasangan), dan untuk memilih komponen sistem tertentu. Dia dibantu dalam merancang PV array (jumlah modul PV secara seri dan paralel), diberi pilihan model yang inverter, baterai atau pompa. Pada tahap kedua, pengguna dapat menentukan parameter yang lebih rinci dan menganalisis efek baik seperti perilaku termal, kabel, kualitas modul, ketidakcocokan dan sudut datang kerugian, horizon (jauh shading), atau nuansa parsial dekat objek pada array, sebuah sebagainya. Untuk sistem pemompaan, beberapa desain sistem dapat diuji dan dibandingkan satu sama lain, dengan analisis rinci tentang perilaku dan efisiensi. Hasil mencakup beberapa puluhan variabel simulasi, yang dapat ditampilkan dalam nilai-nilai bulanan, harian atau per jam, dan bahkan ditransfer ke perangkat lunak lain. "Rugi Diagram" sangat berguna untuk mengidentifikasi kelemahan dari desain sistem. Sebuah laporan insinyur dapat dicetak untuk setiap simulasi dijalankan, termasuk semua parameter yang digunakan untuk simulasi, dan hasil utama. Evaluasi ekonomi rinci dapat dilakukan dengan menggunakan harga komponen nyata, biaya tambahan dan kondisi investasi.
3. Database: manajemen database - untuk data dan PV meteorologi komponen. Pembuatan dan pengelolaan situs geografis, generasi dan visualisasi data meteorologi jam, impor data meteorologi dari beberapa sumber yang telah ditetapkan atau dari file ASCII kustom. Manajemen database dari produsen dan komponen PV, termasuk modul PV, Inverter, Regulator, Generator, Pompa, dll.

2.15 Autodesk AutoCAD 2017

AutoCAD adalah sebuah perangkat lunak CAD yang berfungsi untuk menggambar/mendesain sebuah objek 2 dimensi maupun 3 dimensi dengan sistem CAD. AutoCAD adalah software desain yang paling populer di dunia karena keunggulannya dalam mengembangkan produk-produknya. AutoCAD dikembangkan oleh Autodesk yang memiliki banyak versi mulai dari versi pertama yang dikeluarkannya adalah 1.0 (tahun 1982) sampai dengan versi

yang sekarang. AutoCAD terus berinovasi dengan mengeluarkan versi-versi terbarunya dan fitur-fitur yang lebih menarik tentunya.

AutoCAD biasa digunakan oleh seorang Insinyur Sipil, Arsitek, Mesin, Listrik dan lain-lain. Pada zaman yang modern seperti sekarang Autocad sangat diminati khususnya untuk menggambar baik itu menggambar 2 dimensi ataupun 3 dimensi, karena dengan bantuan software ini akan memudahkan kita dalam mengerjakan pekerjaan menggambar dalam waktu yang relatif singkat dan tentunya memiliki kualitas gambar yang baik. Pada versi autoCAD 2017, terdapat beberapa fitur tambahan yang membedakan dari versi terdahulunya, fitur ini merupakan peningkatan atau penyempurnaan dari fitur yang sebelumnya sudah ada.

Perbaikan dan penyempurnaan fitur yang pertama ditambahkan pada Autocad 2017 adalah peningkatan fitur *Import Pdf*. Dengan peningkatan tersebut, pengguna dapat mengimpor vektor geometri, *TrueType* teks, dan *raster images* dari PDF langsung ke AutoCAD sebagai objek yang dapat diedit.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.